

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-164928

(43)Date of publication of application : 16.06.2000

(51)Int.Cl.

H01L 33/00
H01L 21/28

(21)Application number : 10-334574

(71)Applicant : TOSHIBA ELECTRONIC
ENGINEERING CORP
TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 25.11.1998

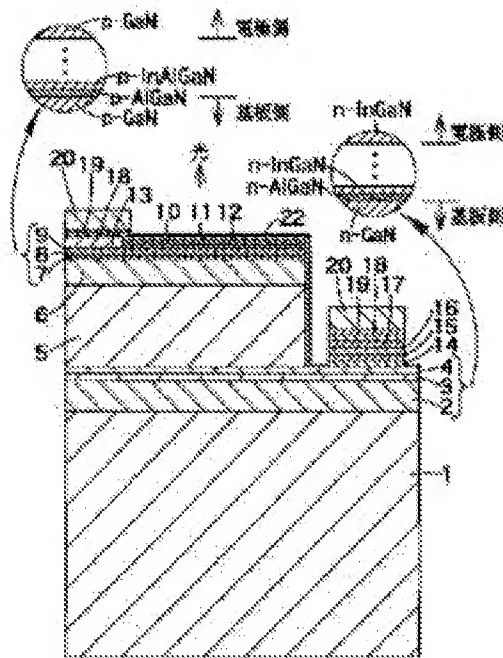
(72)Inventor : OKAZAKI HARUHIKO
NOZAKI CHIHARU
FURUKAWA CHISATO

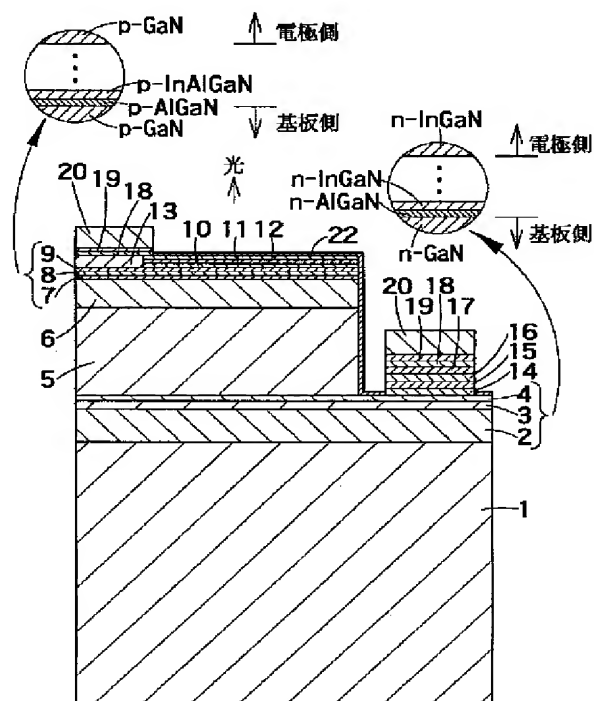
(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve ohmic characteristic by forming, in a p-side electrode, a contact layer which includes silver, in contact with a layer made of p-type nitride semiconductor and forming a layer made of tungsten on the contact layer.

SOLUTION: A p-side electrode is constituted of a light transmitting electrode and a bonding pad section. More specifically, a block layer 13 comprising at least SiO₂ is selectively formed on a p-type GaN contact layer 9 and then a light transmitting electrode stacked with a first metal layer 10, second metal layer 11, and tungsten layer 12 is formed on the rest of the surface. As the first metal layer 10, silver is preferably used. As the second metal layer 11, gold is preferably used. By using either silver or a mixture of silver and gold for contact metal to be brought into contact with the p-type contact layer 9, an ohmic contact with the p-type contact layer 9 can be improved.





【特許請求の範囲】

【請求項1】 p型の窒化物系半導体からなる第1の層と、
n型の窒化物系半導体からなる第2の層と、
前記第1の層に接触して設けられたp側電極と、
前記第2の層に接触して設けられたn側電極と、
を備え、
前記p側電極は、前記第1の層に接触して設けられ銀（Ag）を含有するコンタクト層と、前記コンタクト層の上に設けられたタングステン（W）からなる層と、を有することを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 前記タングステン（W）からなる層の上に、金属酸化物からなる透光性導電膜が設けられたことを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】 前記透光性導電膜の上に設けられたオーバーコート層をさらに備え、
前記オーバーコート層は、
前記透光性導電膜に接触して設けられたニッケル（Ni）からなる層を有することを特徴とする請求項1または2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】 p型の窒化物系半導体からなる第1の層と、
n型の窒化物系半導体からなる第2の層と、
前記第1の層に接触して設けられたp側電極と、
前記第2の層に接触して設けられたn側電極と、
を備え、
前記n側電極は、前記第1の層に接触して設けられ、ハフニウム（Hf）、アルミニウム（Al）及びチタン（Ti）のいずれかからなるコンタクト層と、前記コンタクト層の上に設けられたタングステン（W）からなるバリア層と、前記バリア層の上に設けられた金（Au）からなるボンディング・パッド層と、を有することを特徴とする半導体発光素子。

【請求項5】 前記第1の層は、p型のドーパントを含有し層厚が100nm以下の複数の層からなり、
前記複数の層のそれぞれは、隣接する層と組成が異なる窒化物系半導体からなることを特徴とする請求項1～4のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項6】 前記第2の層は、n型のドーパントを含有し層厚が100nm以下の複数の層からなり、
前記複数の層のそれぞれは、隣接する層と組成が異なる窒化物系半導体からなることを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項7】 前記第1の層と前記第2の層の少なくともいずれかは、前記電極と接触する表面に凹凸が設けられたことを特徴とする請求項1～6のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項8】 半導体からなる発光層と、
金属酸化物からなり、前記発光層から放出される光に対して透光性を有する透光性導電膜と、

前記透光性導電膜に接触して設けられたニッケル（Ni）からなる層と、
を備えたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項9】 n型の窒化物系半導体からなるn型層とp型の窒化物系半導体からなるp型層とを有する積層体を形成する工程と、
前記積層体の前記p型層の表面にp側コンタクト電極層を形成する工程と、
還元性ガスを含有する雰囲気中で熱処理する工程と、
を備えたことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項10】 n型の窒化物系半導体からなるn型層とp型の窒化物系半導体からなるp型層とを有する積層体を形成する工程と、
前記積層体の前記n型層の表面にn側コンタクト電極層を形成する工程と、
第1の温度において熱処理する工程と、
前記積層体の前記p型層の表面にp側コンタクト電極層を形成する工程と、
還元性ガスを含有する雰囲気中で前記第1の温度よりも低い第2の温度において熱処理する工程と、
を備えたことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項11】 前記n側コンタクト電極層は、ハフニウム（Hf）、アルミニウム（Al）及びチタン（Ti）のいずれかからなることを特徴とする請求項10記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項12】 前記p側コンタクト電極層は、銀（Ag）を含有する金属またはニッケル（Ni）のいずれかからなることを特徴とする請求項9～11のいずれか1つに記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項13】 前記p側コンタクト電極層の上に金属酸化物からなる透光性導電膜を形成する工程と、
酸素を含有した雰囲気において前記透光性導電膜を熱処理する工程と、
をさらに備えたことを特徴とする請求項9～12のいずれか1つに記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項14】 発光層を含む半導体積層体を形成する工程と、
前記半導体積層体の上に金属酸化物からなる透光性導電膜を形成する工程と、
酸素を含有した雰囲気において前記透光性導電膜を熱処理する工程と、
を備えたことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子及びその製造方法に関する。より詳しくは、本発明は、基板上にGaN、InGaN、GaAlNなどの窒化物系半導体層などが積層された発光素子であって、接触抵抗が低く信頼性も良好な電極を有する半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化ガリウムに代表される窒化物系半導体を用いることにより、紫外光から青色、緑色の波長帯の発光素子が実用化されつつある。

【0003】なお、本願において「窒化物系半導体」とは、 $B_x I n_y A l_z G a_{(1-x-y-z)} N$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$) のIII-V族化合物半導体を含み、さらに、V族元素としては、Nに加えてリン(P)や砒素(As)などを含有する混晶も含むものとする。

【0004】窒化物系半導体を用いて発光ダイオード(LED)や半導体レーザなどの発光素子を形成することにより、これまで困難であった発光強度の高い紫外光、青色光、緑色光等の発光が可能となりつつある。また、窒化物系半導体は、結晶成長温度が高く、高温下でも安定した材料であるので電子デバイスへの応用も期待されている。

【0005】以下、窒化物系半導体を用いた半導体素子の一例として発光素子を例に挙げて説明する。

【0006】図8は、窒化物系半導体を用いた従来の発光ダイオードの構造を表す概略断面図である。サファイア基板101の上に、GaNバッファ層(図示せず)、n型GaN層102とp型GaN層106が結晶成長され、p型GaN層106の一部がエッチング除去されてn型GaN層102が露出されている。p型GaN層6の上にはp側透明電極(Au)121、とp側ボンディング電極の下に電流阻止用の絶縁膜113、その上にp側透明電極121と接続されたp側ボンディング電極123(Ti/Au)が形成され、さらにn型GaN層上にn側電極122(Al/Au)を形成されている。

【0007】図8の発光ダイオードにおいては、p側電極から流された電流は導電性の良い透明電極121で面内方向に拡げられ、p型GaN層106からn型GaN層102に電流が注入されて発光し、その光は透明電極121を透過してチップ外に取り出される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図8に例示したような従来の窒化物系半導体は、電極とオーミック接触を確保することが難しいという問題があった。すなわち、窒化物系半導体はバンドギャップが広いため電極とオーミック接触をさせることが難しい。さらに、窒化物系半導体は、p型、n型共に高キャリア濃度を有する層の形成が困難であり、この点からもオーミック接触の形成が困難であるという問題があった。

【0009】また、窒化物系半導体は、化学的なウェットエッチングが困難であるため、電極形成前の表面処理を行うことが難しく、電極と半導体層界面の表面状態によってオーミック特性が大きく左右されるという工程上の問題もあった。

【0010】本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、その目的は、良好なオーミック特性がえら

れ、信頼性も改善された半導体発光素子及びその製造方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の半導体発光素子は、p型の窒化物系半導体からなる第1の層と、n型の窒化物系半導体からなる第2の層と、前記第1の層に接触して設けられたp側電極と、前記第2の層に接触して設けられたn側電極と、を備え、前記p側電極は、前記第1の層に接触して設けられ、銀(Ag)を含有するコンタクト層と、前記コンタクト層の上に設けられたタングステン(W)からなる層と、を有することを特徴とし、p側において優れたオーミック接触を確保することができる。

【0012】ここで、前記タングステン(W)からなる層の上に、金属酸化物からなる透光性導電膜を設けることにより、電流を面内に拡げて均一な発光を得ることができる。

【0013】さらに、前記透光性導電膜の上に設けられたオーバーコート層をさらに備え、前記オーバーコート層は、前記透光性導電膜に接触して設けられたニッケル(Ni)からなる層を有することにより、透光性導電膜とオーバーコート層との付着強度を改善することができる。

【0014】または、本発明の半導体発光素子は、p型の窒化物系半導体からなる第1の層と、n型の窒化物系半導体からなる第2の層と、前記第1の層に接触して設けられたp側電極と、前記第2の層に接触して設けられたn側電極と、を備え、前記n側電極は、前記第1の層に接触して設けられ、ハフニウム(Hf)、アルミニウム(Al)及びチタン(Ti)のいずれかからなるコンタクト層と、前記コンタクト層の上に設けられたタングステン(W)からなるバリア層と、前記バリア層の上に設けられた金(Au)からなるボンディング・パッド層と、を有することを特徴とし、n側において良好なオーミック接触を確保するとともにバリア層が有効に作用して信頼性も確保することができる。

【0015】本発明の望ましい実施の態様として、前記第1の層は、p型のドーパントを含有し層厚が100nm以下の複数の層からなり、前記複数の層は、隣接する層が互いに異なる組成の窒化物系半導体からなることを特徴とし、さらにオーミック接触を改善することができる。

【0016】ここで、前記第2の層は、n型のドーパントを含有し層厚が100nm以下の複数の層からなり、前記複数の層は、隣接する層が互いに異なる組成の窒化物系半導体からなるものとするのが望ましい。

【0017】また、前記第1の層と前記第2の層の少なくともいずれかは、前記電極と接触する表面に凹凸が設けられたものとすれば、電極との接触面積を拡大して接触抵抗を低下させ、電極の付着強度を改善することがで

きる。

【0018】または、本発明の半導体発光素子は、半導体からなる発光層と、金属酸化物からなり、前記発光層から放出される光に対して透光性を有する透光性導電膜と、前記透光性導電膜に接触して設けられたニッケル（Ni）からなる層と、を備えたことを特徴とし、窒化物系半導体に限らず、InGaAlP系やInP系などの種々の材料系を用い、且つ透光性導電膜を有する半導体発光素子において、透光性導電膜と金属層との付着強度を改善することができる。

【0019】一方、本発明の半導体発光素子の製造方法は、n型の窒化物系半導体からなるn型層とp型の窒化物系半導体からなるp型層とを有する積層体を形成する工程と、前記積層体の前記p型層の表面にp側コンタクト電極層を形成する工程と、還元性ガスを含有する雰囲気中で熱処理する工程と、を備えたことを特徴とし、p側において良好なオーミック接触を得ることができる。

【0020】または、本発明の半導体発光素子の製造方法は、n型の窒化物系半導体からなるn型層とp型の窒化物系半導体からなるp型層とを有する積層体を形成する工程と、前記積層体の前記n型層の表面にn側コンタクト電極層を形成する工程と、第1の温度において熱処理する工程と、前記積層体の前記p型層の表面にp側コンタクト電極層を形成する工程と、還元性ガスを含有する雰囲気中で前記第1の温度よりも低い第2の温度において熱処理する工程と、を備えたことを特徴とし、良好なオーミック接触を得ることができる。

【0021】ここで、本発明の望ましい実施の態様として、前記n側コンタクト電極層は、ハフニウム（Hf）、アルミニウム（Al）及びチタン（Ti）のいずれかからなるものとすれば、良好なn側オーミックが得られる。

【0022】また、前記p側コンタクト電極層は、銀（Ag）を含有する金属またはニッケル（Ni）のいずれかからなるものとすれば、良好なp側オーミックが得られる。

【0023】また、前記p側コンタクト電極層の上に金属酸化物からなる透光性導電膜を形成する工程と、酸素を含有した雰囲気において前記透光性導電膜を熱処理する工程と、をさらに備えたことを特徴とし、透光性導電膜のシート抵抗を低下させ付着強度も高くすることができる。

【0024】または、本発明の半導体発光素子の製造方法は、発光層を含む半導体積層体を形成する工程と、前記半導体積層体の上に金属酸化物からなる透光性導電膜を形成する工程と、酸素を含有した雰囲気において前記透光性導電膜を熱処理する工程と、を備えたことを特徴とし、窒化物系半導体に限らず、InGaAlP系やInP系などの種々の半導体を用い、且つ透光性導電膜を有する半導体発光素子において、透光性導電膜のシート

抵抗を低下させ、付着強度を高くすることができる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下に図面を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態にかかる半導体発光素子を表す概略断面図である。本発明の半導体発光素子は、サファイア基板1の上にGa₂Nバッファ層（図示せず）、n型Ga₂N層2、n型AlGa₂Nコンタクト層3、n型Ga₂Nコンタクト層4、n型Ga₂N層5、p型Ga₂N層6、p型AlGa₂Nコンタクト層7、p型InGa₂Nコンタクト層8、p型Ga₂Nコンタクト層9、が順次積層された構造を有する。

【0026】p側電極は、透光性電極とボンディング・パッド部とからなる。すなわち、p型Ga₂Nコンタクト層9の上には、SiO₂などからなるブロック層13が選択的に形成され、残りの表面上には、例えば、第1の金属層10/第2の金属層11/タングステン（W）層12を積層した透光性電極が形成されている。

【0027】ブロック層13は、ボンディング・パッドの下において余分な発光が生じないように電流を遮断する役割を有する。また、透光性電極の各層の層厚はいずれも極めて薄く、発光素子から放出される光があまり吸収されずに透過するようにされている。

【0028】第1の金属層10としては、銀（Ag）を用いることが望ましい。また、第2の金属層11としては、金（Au）を用いることが望ましい。または、第1の金属層10として銀と金との混合物を用い、第2の金属層を省略しても良い。あるいは、後に詳述するように、本発明に独特の水素アニールを施す場合には、第1の金属層10としてニッケル（Ni）を用い、第2の金属層を省略しても良い。

【0029】ブロック層13の上には、透光性電極層の一部が接続された状態で、チタン（Ti）層18、タングステン（W）層19、金（Au）層20をこの順に堆積したボンディングパッドが形成されている。ここで、チタン（Ti）層18は接着層、タングステン（W）層19はバリア層、金（Au）層20はボンディング層として作用する。

【0030】一方、n型コンタクト層4の上には、n側電極が形成されている。すなわち、ハフニウム（Hf）層14/アルミニウム（Al）層15/ハフニウム（Hf）層16/金（Au）層17がこの順序に堆積され、さらにその上には、チタン（Ti）層18、タングステン（W）層19、金（Au）層20をこの順に堆積したボンディングパッド部が形成されている。

【0031】ここで、中間の金（Au）層17は、ハフニウム（Hf）層16を保護するキャップ層として作用する。半導体中への金（Au）の過剰な侵入を防ぐために、金（Au）層17の層厚は比較的薄く形成することが望ましく、または、省略することもできる。

【0032】また、チタン層18は、接着層として作用する。タングステン層19は、バリア層として作用する。さらに、金層20は、ワイアなどをボンディングする層として作用する。

【0033】図示したn側電極層の構造は、一例に過ぎない。本発明においては、n型コンタクト層4に接触する金属層が、ハフニウム(Hf)、チタン(Ti)またはアルミニウム(Al)のいずれかであり、その上にタングステン(W)からなるバリア層が設けられ、さらに、その上に金(Au)からなるボンディング・パッド層が設けられていることが特徴とされる。

【0034】発光素子の表面は、SiO₂からなる保護膜22により覆われている。

【0035】本発明の発光素子は、以上説明した構成により、以下に説明する作用を奏する。

【0036】すなわち、本発明によれば、まず、p型コンタクト層9と接触するコンタクト金属として、銀、または、銀と金との混合物のいずれかを用いることにより、p型コンタクト層9とのオーミック接触を大幅に改善することができる。本発明者は、独自の検討を行った結果、これらの金属を半導体層にコンタクトさせた時に、特に接触抵抗を低減できることを知得するに至った。これは、銀を添加することによりp型コンタクト層9と反応しやすくなるからであると考えられる。

【0037】また、本発明によれば、素子のn側において、n側コンタクト金属層の上にバリア層としてのタングステン層19を設けることにより、バリア効果を維持しつつ、オーミック接触を改善することができる。すなわち、バリア層は、n側コンタクト金属とボンディングパッドとの相互拡散を防いで、信頼性を維持する作用を有する。従来は、n側電極のバリア層としては、白金(Pt)が用いられることが多かった。しかし、白金は、窒化物系半導体の中に侵入するとp型のドーパントとして作用する。従って、ボンディング・パッド形成後の、熱処理や半田マウントあるいはワイア・ボンディングなどの昇温工程の際に白金がn型コンタクト層に拡散してオーミック接触を劣化させていた。

【0038】これに対して、本発明者は、n側電極のバリア層としてタングステン層を用いることにより、オーミック接触を劣化させることなく、長期間の信頼性が確保されることを発見した。また、このようにバリア層としてタングステン層を用いる場合には、コンタクト金属として、上述したハフニウム(Hf)、チタン(Ti)またはアルミニウム(Al)のいずれかを用いた場合に、特に良好な結果が得られることが分かった。

【0039】さらに、本発明によれば、これらの新規な構成を従来とは異なる新規なプロセスで形成することにより、さらにオーミック接触を改善することができる。次に、本発明の発光素子の製造方法について説明する。図2は、本発明の発光素子の製造方法の要部を表すフロ

ーチャートである。まず、ステップS1に示したように、サファイア基板1の上に、半導体層2～9を順次結晶成長する。各層の結晶成長は、例えば、MOCVD (metal-organic chemical vapor deposition)、ハイドライドCVD、MBE (molecular beam deposition) などの方法により行うことができる。

【0040】次に、ステップS2に示したように、p型層をエッチングする。すなわち、p型半導体からなる層6～9を、選択的にエッチングしてn型Ga_{0.4}N層4を露出させる。具体的には、例えば、PEP (photo-engraving process) 法によりパターニングし、RIE (reactive ion etching) などのエッチング法によりエッチングを施すことにより行う。

【0041】次に、ステップS3に示したように、n側電極のうちのコンタクト部を形成する。具体的には、真空蒸着法やスパッタリング法などによりGa_{0.4}Nコンタクト層4の上に、ハフニウム層14/アルミニウム層15/ハフニウム層16/金層17などを堆積し、リフトオフ法によりパターニングする。

【0042】次に、ステップS4に示したように、n側電極のコンタクト部のシンタを行う。具体的には、例えば、窒素ガス雰囲気中において800℃以上で20秒間程度の熱処理を施す。

【0043】次に、ステップS5またはS8に示したように、p側電極のうちの透光性電極層を形成する。具体的には、真空蒸着法やスパッタリング法などによりp型コンタクト層9の上に、第1の金属層10/第2の金属層11/タングステン(W)層12などを順次堆積する。ここで、第1の金属層10は、前述したように、銀、銀と金との混合物、またはニッケルのいずれかである。銀の場合には、その厚みは、0.5～10nm程度とすることが望ましい。また、銀と金との混合物とする場合には、銀の比率は、1～20原子%程度とし、その混合物層の厚みは、0.5～10nm程度とすることが望ましい。また、ニッケルの場合には、その厚みは、0.5～5nmとすることが望ましい。

【0044】この後の工程は、p側電極の材料に応じて若干異なる。すなわち、ステップS5に示したように、コンタクト金属としてニッケルを用いた場合には、ステップS6において、還元性ガスを含有した雰囲気中でアニールを施す。還元性ガスとしては、水素ガスを用いることができる。また、その雰囲気は、水素と窒素との混合ガスとすることができ、水素の体積含有率が0.1%～5%程度の範囲であることが望ましい。また、アニール温度は、500℃以下とすることが望ましい。

【0045】次に、ステップS7に示したように、ボンディング・パッド部を形成する。具体的には、真空蒸着法やスパッタリング法などによって、チタン(Ti)層18、タングステン(W)層19、金(Au)層20をこの順に堆積する。

【0046】一方、ステップS8に示したように、コンタクト金属として、銀または銀と金との混合物を用いた場合には、ステップS9において、一旦シンタする。具体的には、窒素雰囲気中において600℃以上800℃以下の温度で熱処理を施す。熱処理は、例えば、750℃で約20秒間とすることができる。

【0047】次に、ステップS10に示したように、還元性ガスとしての水素を含有した雰囲気中でアニールを施す。この雰囲気やアニール温度は、ステップS6について前述した通りである。

【0048】次に、ステップS11に示したように、ボンディング・パッド部を形成する。具体的には、真空蒸着法やスパッタリング法などによって、チタン(Ti)層18、タングステン(W)層19、金(Au)層20をこの順に堆積する。

【0049】以上の工程により、本発明の半導体発光素子が完成する。

【0050】本発明の製造方法においては、まず、p側電極の形成に先だってn側電極を形成し、シンタすることにより、良好なオーミック接触を得ることができる。この理由は、本発明において用いるn側電極のコンタクト金属に対する最適なシンタ温度は、p側電極に対する最適な熱処理温度よりも高いからである。すなわち、ステップS4におけるn側電極のシンタ温度は、800℃以上であるのに対して、ステップS6、S9、S10における熱処理温度は、いずれも800℃以下である。従って、図2に示したようにn側電極の形成とシンタを先に行うことにより、p側電極に過剰な熱処理を負荷することがなくなる。

【0051】また、本発明の製造方法によれば、p側電極を堆積した後に、ステップS6、S10において還元性の雰囲気中でアニールを施すことにより、p側のオーミック接触や付着強度をさらに改善することができる。これは、窒化物系半導体に関して従来報告されている事実と反するものであり、本発明者が独自に知得した実験事実である。すなわち、従来は、水素雰囲気中でp型の窒化物系半導体を熱処理すると、水素の作用によって、半導体中に含有されるマグネシウム(Mg)などのp型ドーパントが不活性化するという事実が報告されていた。このような不活性化が生ずると、p型半導体のアクセプタ濃度が低下するために、オーミック接触は劣化するはずであった。

【0052】これに対して、本発明者は、p型の窒化物系半導体の上に、まず、p側電極層を堆積し、しかる後に水素を含む雰囲気中で熱処理を施すと、オーミック接触と付着強度が大幅に改善されることを発見した。これは、定性的には、p型半導体層の上を電極層で覆うことにより、p型半導体層中のp型ドーパントの不活性化を抑制しつつ半導体層と電極層との間に介在する酸化物などを還元除去することができるからであると推測され

る。

【0053】図3は、本発明者が試作した発光素子のp側電極側の電流電圧特性を表すグラフ図である。ここで、p側電極は、幅100μm、間隔20μmとした。図3において、「本発明A」と表したものは、p側のコンタクト金属として銀(Ag)を用い、水素を含む窒素ガス雰囲気中で500℃10分間のアニールを施した素子である。また、「本発明B」と表したものは、p側のコンタクト金属として銀を用い、水素を含む雰囲気中でのアニールは施さない素子である。また、「従来例」と表したものは、p側のコンタクト金属として金(Au)を用い、水素を含む雰囲気中でのアニールは施さない素子である。

【0054】図3から、p側のコンタクト金属として銀を用いることにより、従来よりも接触抵抗が低下し、水素を含有する雰囲気中でアニールを施すことにより接触抵抗はさらに低減することが分かる。同様の改善は、コンタクト金属として、銀と金との混合物やニッケルを用いた場合にも得られた。

【0055】一方、図4は、本発明者が試作した発光素子のn側電極側の電流電圧特性を表すグラフ図である。ここで、n側電極は、間隔350μmとした。図4において、「本発明」と表したものは、n側電極層としてハフニウム(Hf)を用い、バリア層としてタングステン(W)を用いた素子である。また、「従来例」と表したものは、p側のコンタクト金属としてアルミニウム(Al)を用い、バリア層として白金(Pt)を用いた素子である。

【0056】図4から、本発明によれば、従来よりも接触抵抗が大幅に低減することが分かる。同様の効果は、コンタクト層にアルミニウム(Al)またはチタン(Ti)を用いた場合にも得られた。

【0057】p側またはn側におけるコンタクト付近の層の構成は、例えば、図1において、要部拡大図に表したように、InAlGaIn層とAlGaIn層とを交互に積層した構造や、InGaIn層とAlGaIn層とを交互に積層した構造としても良い。

【0058】InGaInとAlGaInは、GaInに対してそれぞれ反対方向の歪みを生ずるので、このような積層構造とすると、歪みを補償することが可能となる。

【0059】また、100nm以下の厚さの窒化物系半導体層では高キャリア濃度層の形成が容易であり、複数の層を形成するとそれらの界面付近(特にInやAlを含む層とGaIn層との間)には、p型不純物である高濃度のマグネシウム(Mg)あるいはn型不純物である高濃度のシリコン(Si)が集中しやすい。p側電極やn側電極を堆積後に、所定の熱処理を施すと、電極金属と複数の窒化物系半導体層とが反応し、さらにそれらの層の界面付近にある高濃度のマグネシウム(p側)やシリコン(n側)と電極金属も良好な反応を起こし、オーミ

ック特性の良好な電極コンタクトを形成することができる。

【0060】この際に、次の第2実施形態に関して後述するように、複数の窒化物系半導体層を貫通するような凹凸があれば、さらに電極金属と半導体層との反応を効率的に進めることができる。

【0061】次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。

【0062】図5は、本発明の第2の実施の形態にかかる発光素子の断面構造を表す概念図である。同図については、図1と同一の構成については、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。本実施形態においては、p側及びn側の電極コンタクト部分において、半導体の表面部分が部分的にエッチング除去され、凹凸状に加工されている。そして、この凹凸状の半導体の表面にp側及びn側の電極層が形成されている。このようにコンタクト部分の半導体の表面を凹凸状に加工すると、電極との接触面積が増大し、コンタクト抵抗をさらに低減することができる。また、電極の剥離強度も増加する。さらに、p側に形成された凹凸によって、発光部分から放出される光の外部への取り出し効率が改善される。すなわち、窒化物系半導体は、屈折率が2.67程度と極めて高い。そのために、発光層から放出された光のうちで、p型コンタクト層の表面に到達した光は、垂直に近い角度で入射ものの以外は、全反射されてしまう。これに対して、本実施形態によれば、p型コンタクト層の表面部分に凹凸を形成することにより、光を数回にわたって散乱し、最終的に外部に取り出す成分を増加することができる。

【0063】次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。図6は、本発明の第3の実施の形態にかかる発光素子の断面構成を表す概念図である。同図についても、図1に関して前述したものと同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0064】本実施形態の発光素子は、基板1を介して外部に光を取り出す構成を有する。

【0065】また、本実施形態においては、p側電極、N側電極ともにボンディング用の金(Au)層までを一度に形成しているため、オーバーコート電極層の接着層であるチタン(Ti)層18が無い構成となっている。

【0066】また、p側の電極を介して光を取り出す構成ではないため、p側電極は必ずしも透光性を有する必要は無く、層厚を厚く形成することができる。

【0067】次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。

【0068】図7は、本発明の第4の実施の形態にかかる発光素子の断面構成を表す概念図である。同図についても、図1に関して前述したものと同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。本実施形態は、ITO(インジウム錫酸化物)からなる透光性電極23

をp側電極の表面に積層した例である。p側のオーバーコート電極すなわちボンディング電極は、ニッケル(Ni)層18'と金(Au)層20により形成されている。

【0069】本実施形態によれば、ITOを積層することにより、ボンディング電極に供給された電流をITOからなる透明電極23の層内で面内方向に拡げ、p側電極を介して注入することにより、面内において均一な強度分布を有する発光を得ることができる。

【0070】この効果は、p側電極金属が層状でなく島状に形成されている場合に特に効果的であり、ボンディング電極からの電流を面内方向に効率的に流すことができる。

【0071】また、ニッケル層18'は、ITOからなる透明電極23に対して付着強度が良好であり、ITO透明電極23の上のオーバーコート層すなわちボンディング電極が剥がれるという問題を解消することができる。

【0072】本実施形態においては、透明電極23が金(Au)に対するバリアとして作用するため、必ずしもタングステン(W)層は必要ではなく、同図に表したようにニッケル(Ni)層18'と金(Au)層20のみで良い。または、金(Au)20のみでも良い。但し、透明電極23の膜厚や膜質に応じてバリア層を設けると、金(Au)の拡散を防いで信頼性をさらに改善することができる。本発明者の検討によれば、この場合のバリア層としては、タングステン(W)または、白金(Pt)が特に適していることが分かった。すなわち、ニッケル層18'と金層20との間にタングステン(W)層または白金(Pt)層を設けると、金の拡散を効果的に阻止して発光素子の信頼性をさらに向上させることができる。また、これら以外にも、モリブデン(Mo)、チタン(Ti)及びタンタル(Ta)のいずれかをバリア層として用いても良好な結果が得られることが分かった。

【0073】本発明者は、本実施形態におけるITO透明電極23の形成プロセスについて試作検討を繰り返した結果、極めて良好な結果が得られるプロセスを見出した。すなわち、本実施形態の発光素子を形成するには、p側コンタクト電極10~12を形成し、水素アニールを施した後に、透明電極23を形成することにより得られる。

【0074】前述した図2を参照しつつ説明すると、まず、水素アニール処理S6またはS10の後に、スパッタ法などにより、ITOを堆積する。次に、酸素を含有した雰囲気中でアニールを施す。このアニールにより、ITO層と金属電極層との付着強度が顕著に改善することが分かった。さらに、このアニールにより、ITOのシート抵抗を低下させることができる。付着強度の向上やシート抵抗の低下を確実に得るためには、窒素

(N_2) やアルゴン (Ar) などの不活性ガスに重量百分比で5~70%の酸素を含有させた雰囲気中で、300~600℃、さらに望ましくは300~500℃の範囲の温度においてアニールすることが望ましい。同時に、このITO層のアニール温度は、前の工程に対して影響を与えないようにするために、水素アニール処理S6またはS10の処理温度よりも低くすることが望ましい。

【0075】このアニール工程の後に、図2に表したように、オーバーコート層すなわちボンディング電極を形成する工程S7または工程S11を実行することにより、本実施形態の発光素子が完成する。

【0076】本実施形態におけるITO透明電極23に関する構成及びその製造方法は、必ずしも窒化物系半導体からなる発光素子に限定されず、その他の種々の応用例においても同様に適用することができる。例えば、GaAs基板の上に形成するInGaAlP系やAlGaAs系などの材料を用いた発光素子あるいはInP基板の上に形成するInP系やInGaAs系などの材料を用いた半導体素子についても同様に適用できる。すなわち、ITO電極に接触させる金属層としてニッケルを用いることにより、両者の付着強度を改善して素子の信頼性を向上させることができる。

【0077】また、酸素を含有した雰囲気中でアニールを施すことにより、ITOのシート抵抗を低下させ、金属層や半導体層との付着強度を更に改善することもできる。

【0078】一例を挙げると、InGaAlP系やInP系の発光素子においては、p側に透明電極を形成した後に、n側のシンタリング工程を施す必要がある場合も多い。このような場合に、本発明の構成及び製造方法によれば、ITOのシート抵抗を上昇させることを防ぎ、むしろシート抵抗を低下させ且つ付着強度も改善することができるという効果を得ることができる。

【0079】一方、本実施形態の透光性電極23としては、ITO以外にも、例えば、インジウム、すず、チタンなどの各種の金属の酸化物を同様に用いることができる。

【0080】以上、具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明はこれらの具体例に限定されるものではない。

【0081】例えば、n側電極の構造としては、図示した具体例には限定されず、これ以外にも、n型コンタクト層の上に、ハフニウム(Hf)、チタン(Ti)またはアルミニウム(Al)のいずれかまたは、これらの合金からなるコンタクト層を設け、その上にタングステンからなるバリア層を設け、その上に、金(Au)からなるボンディング・パッドを設けたあらゆる構造でも同様の効果を得ることができる。

【0082】また、発光素子の構造も、例えば、活性層

をクラッド層で挟んだいわゆる「ダブルヘテロ型構造」としても良く、また、活性層やクラッド層などに超格子を用いても良い。さらに、発光ダイオードのみならず各種の半導体レーザなどについても同様に適用して同様の効果を得ることができる。

【0083】また、基板として用いるものは、サファイアに限定されず、その他にも、例えば、スピネル、 MgO 、 $ScAlMgO_4$ 、 $LaSrGaO_4$ 、 $(LaSr)(AlTa)O_3$ などの絶縁性基板や、 SiC 、 GaN 、 Si 、 $GaAs$ などの導電性基板も同様に用いてそれぞれの効果を得ることができる。特に、 GaN については、例えば、サファイア基板の上にハイドライド気相成長法などにより厚く成長した GaN 層を基板から剥離して GaN 基板として用いることができる。

【0084】また、 $ScAlMgO_4$ 基板の場合には、(0001)面、 $(LaSr)(AlTa)O_3$ 基板の場合には(111)面を用いることが望ましい。

【0085】さらに、本発明はp側電極とn側電極との少なくともいずれかを有する半導体素子について同様に適用して同様の効果を得ることができる。例えば、本発明は、必ずしも発光素子に限定されず、FET (field effect transistor: 電界効果トランジスタ) などの各種の電子素子についても同様に適用することができる。

【0086】

【発明の効果】本発明は、以上説明したような形態で実施され、以下に説明する効果を奏する。

【0087】まず、本発明によれば、p型コンタクト層と接触するコンタクト金属として、銀、または、銀と金との混合物のいずれかを用いることにより、p型コンタクト層とのオーミック接触を大幅に改善することができる。

【0088】また、本発明によれば、素子のn側において、n側コンタクト金属層の上にタングステン層を設けることにより、バリア効果を維持しつつ、オーミック接触を改善することができる。すなわち、従来バリア層として用いられていた白金(Pt)のように、オーミック接触を劣化させることなく、バリア層として効果的に作用し、長期間の信頼性が確保される。

【0089】また、本発明によれば、このようにバリア層としてタングステン層を用いる場合には、コンタクト金属として、上述したハフニウム(Hf)、チタン(Ti)またはアルミニウム(Al)のいずれかを用いた場合に、特に良好な結果が得られる。

【0090】また、本発明の製造方法によれば、p側電極の形成に先だってn側電極を形成し、シンタすることにより、良好なオーミック接触を得ることができる。この理由は、本発明において用いるn側電極のコンタクト金属に対する最適なシンタ温度は、p側電極に対する最適な熱処理温度よりも高いからである。すなわち、n側電極の形成とシンタを先に行うことにより、p側電極に

過剰な熱処理を負荷することがなくなる。

【0091】また、本発明の製造方法によれば、p側電極を堆積した後に、還元性の雰囲気中でアニールを施すことにより、p側のオーミック接触や付着強度をさらに改善することができる。これは、窒化物系半導体に関して従来報告されている事実と反するものであり、本発明者が独自に知得した実験事実である。このように、還元性の雰囲気中でアニールを施す場合には、p側のコンタクト金属として、ニッケル(Ni)を用いた場合にも従来よりも大幅に良好なオーミック接触が得られる。

【0092】また、本発明によれば、p側またはn側において、InAlGaIn層とAlGaIn層とを交互に積層した構造や、InGaIn層とAlGaIn層とを交互に積層した構造とすると、InGaInとAlGaInは、GaInに対してそれぞれ反対方向の歪みを生ずるので、このような積層構造とすると、歪みを補償することが可能となる。また、0.1μm以下の厚さの窒化物系半導体層では高キャリア濃度層の形成が容易であり、複数の層を形成するとそれらの界面付近(特にInやAlを含む層とGaIn層との間)には、p型不純物である高濃度のマグネシウム(Mg)あるいはn型不純物である高濃度のシリコン(Si)が集中しやすい。p側電極やn側電極を堆積後に、所定の熱処理を施すと、電極金属と複数の窒化物系半導体層とが反応し、さらにそれらの層の界面付近にある高濃度のマグネシウム(p側)やシリコン(n側)と電極金属も良好な反応を起こし、オーミック特性の良好な電極コンタクトを形成することができる。

【0093】この際に、次の第2実施形態に関して後述するように、複数の窒化物系半導体層を貫通するような凹凸があれば、さらに電極金属と半導体層との反応を効率的に進めることができる。

【0094】また、本発明によれば、コンタクト部分の半導体の表面を凹凸状に加工すると、電極との接触面積が増大し、コンタクト抵抗をさらに低減することができる。また、電極の剥離強度も増加する。さらに、p側に形成された凹凸によって、発光部分から放出される光の外部への取り出し効率が改善される。

【0095】さらに、本発明によれば、ITO電極に接触させる金属層としてニッケルを用いることにより、両者の付着強度を改善して素子の信頼性を向上させることができる。

【0096】また、このようなニッケル層と金属層との間に、タングステンまたは白金からなるバリア層を設けることにより、金の拡散を確実に阻止することができる。

【0097】また、本発明によれば、ITOを堆積した後に、酸素を含有した雰囲気中でアニールを施すことにより、ITOのシート抵抗を低下させ、金属層や半導体層との付着強度を更に改善することもできる。

【0098】以上詳述したように、本発明によれば、従

来よりもオーミック接触を改善し、同時に信頼性や電極の付着強度も改善された発光素子を提供することができ、産業上のメリットは多大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態にかかる半導体発光素子を表す概略断面図である。

【図2】本発明の発光素子の製造方法の要部を表すフローチャートである。

【図3】本発明者が試作した発光素子のp側電極側の電流電圧特性を表すグラフ図である。

【図4】本発明者が試作した発光素子のn側電極側の電流電圧特性を表すグラフ図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態にかかる発光素子の断面構造を表す概念図である。

【図6】本発明の第3の実施の形態にかかる発光素子の断面構成を表す概念図である。

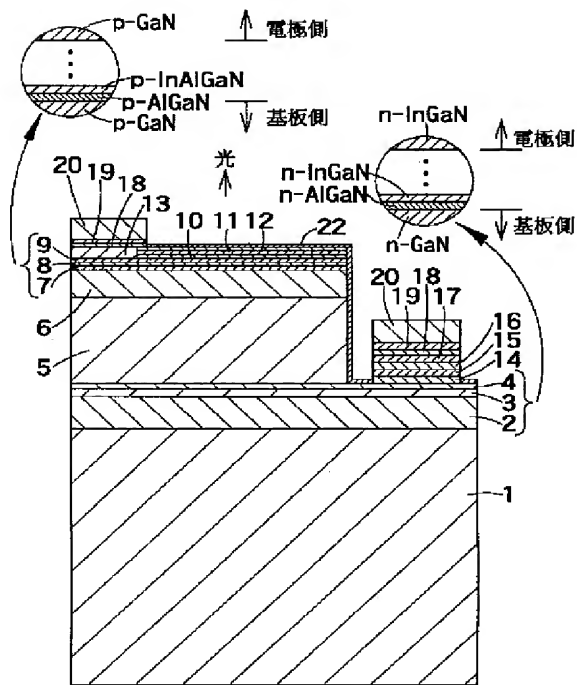
【図7】本発明の第4の実施の形態にかかる発光素子の断面構成を表す概念図である。

【図8】窒化物系半導体を用いた従来の発光ダイオードの構造を表す概略断面図である。

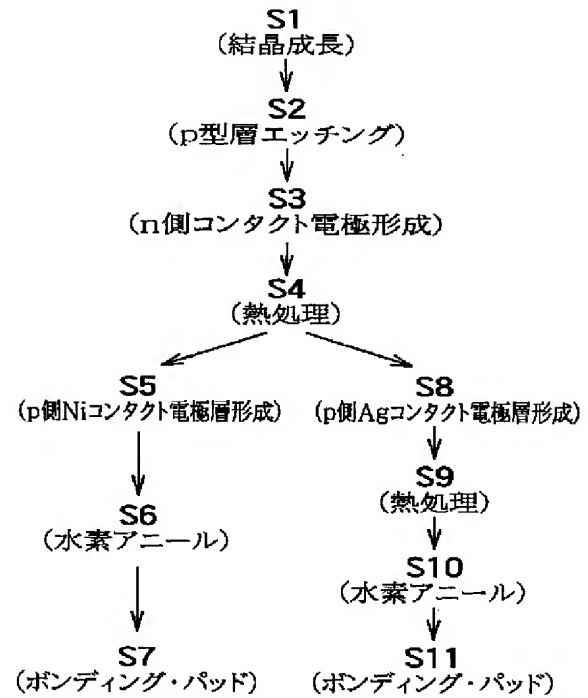
【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 n型GaIn層
- 3 n型AlGaInコンタクト層
- 4 n型GaInコンタクト層
- 5 n型GaIn層
- 6 p型GaIn層
- 7 p型AlGaInコンタクト層
- 8 p型InGaInコンタクト層
- 9 p型GaInコンタクト層
- 10 第1の金属層
- 11 第2の金属層
- 12 タングステン(W)層
- 13 ブロック層
- 14 ハフニウム(Hf)層
- 15 アルミニウム(Al)層
- 16 ハフニウム(Hf)層
- 17 金(Au)層
- 18 チタン(Ti)層
- 19 タングステン(W)層
- 20 金(Au)層
- 22 保護膜
- 101 サファイア基板
- 102 n型GaIn層
- 106 p型GaIn層
- 113 絶縁層
- 121 透明電極
- 122 n側電極
- 123 ボンディング・パッド

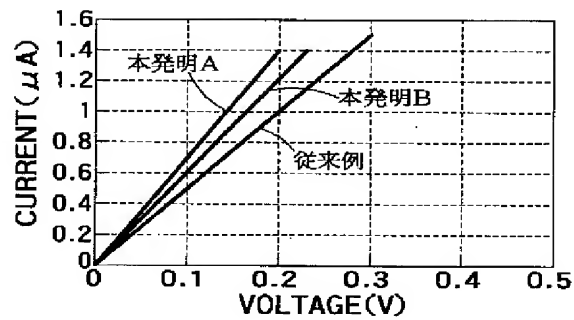
【図1】



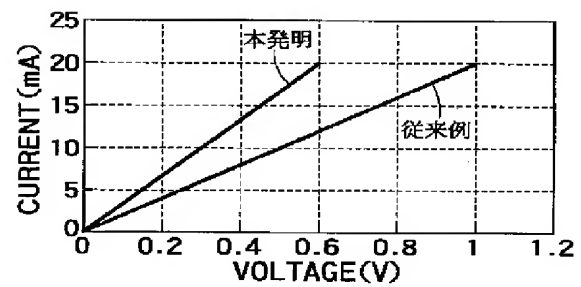
【図2】



【図3】



【図4】



F ターム(参考) 4M104 AA04 BB02 BB05 BB08 BB13
BB14 BB36 CC01 DD34 DD37
DD79 FF17 GG04 HH15
5F041 AA21 CA02 CA03 CA34 CA40
CA46 CA83 CA88 CA92